

El análisis del nitrógeno mineral del suelo como guía para la fertilización nitrogenada de los cultivos hortícolas

C. Ramos
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
Apartado Oficial
46113 Moncada (Valencia)

Palabras clave: abonado, hortalizas, N_{min} , PSNT, nitrato

Resumen

En este trabajo se describen algunos métodos de recomendación de abonado que utilizan el análisis del nitrógeno mineral (nitrato + amonio) o del nitrato del suelo. Los principales métodos revisados son el N_{min} que se emplea principalmente en Europa y el método del PSNT que se utiliza en EEUU. En el método del N_{min} se señala como una dificultad la necesidad de tener una medida aceptable de la densidad aparente del suelo. La variabilidad espacial del contenido de nitrato es, en general, elevada y ello obliga a tomar un número considerable de muestras si queremos que el valor medio tenga una precisión aceptable. Estos métodos se pueden aplicar en condiciones diferentes a las de los países en que se desarrollaron pero, debido a que en sus recomendaciones van implícitas unas determinadas condiciones de suelo, clima y prácticas de cultivo, así como unas producciones que pueden ser diferentes en otras zonas, su adaptación a otras zonas con condiciones diferentes requiere un trabajo experimental adicional para ajustar los valores recomendados de N mineral o de nitrato en el suelo.

INTRODUCCIÓN

En los cultivos hortícolas de regadío se suelen emplear cantidades elevadas de fertilizantes nitrogenados y abonos orgánicos y se pueden dar rotaciones de 2-3 cultivos al año. Esto hace que el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por nitrato sea alto, no sólo por las dosis elevadas de abono sino también por los riegos relativamente frecuentes lo cual hace que las eficiencias de riego sean moderadas o bajas y todo ello favorece la lixiviación de nitrato (Lund, 1979; Pratt, 1984; de Paz y Ramos, 2002; Babiker et al. 2004). Como la lixiviación de nitrato aumenta muy rápidamente cuando las dosis de abono empleadas sobrepasan las necesidades del cultivo (Pratt, 1984, Jürgens-Gschwind, 1989), es muy importante una correcta estimación de estas necesidades. Existen diferentes métodos para calcular el abonado nitrogenado de los cultivos hortícolas (Neeteson, 1995; Hartz, 2003; Tremblay et al., 2001), pero en este trabajo sólo se hará una revisión de la medida del N mineral del suelo como guía para establecer los requerimientos de abonado.

¿Medida del N mineral o del nitrato?

En muchos países europeos se emplea la medida del N mineral (nitrógeno nítrico + nitrógeno amoniacal) poco antes del cultivo, o a los pocos días después de la siembra o plantación, para determinar la cantidad de N a aplicar; este procedimiento se emplea en el método de recomendación de abonado denominado N_{min} (Wehrmann et al., 1988; Neeteson, 1995; Rahn et al. 2001).

En EEUU es más común el análisis de nitrato en el suelo poco antes de la

plantación, o bien antes del primer abonado de cobertera, para determinar la dosis de abonado nitrogenado a emplear en muchos cultivos, incluidos los hortícolas, (Hartz, 2003). En España, Ferrer et al. (2003) también emplearon el análisis de nitrato en suelo previo al abonado de cobertera en el cultivo de maíz, para determinar las necesidades de abonado nitrogenado.

La razón por la que se emplea el análisis de nitrato en vez del N mineral es porque el nitrato es la forma predominante del nitrógeno mineral del suelo en muchos casos (Villar-Mir et al. 2002; Goh y Haynes, 1986; Jackson et al., 1994) y porque el análisis de amonio es más costoso. Sin embargo, en algunos trabajos se han encontrado proporciones importantes de NH_4^+ (Needham, 1982), por lo que en estas situaciones sería aconsejable la medida del amonio además de la del nitrato.

EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DE ABONADO N_{MIN}

En este método se considera que cada cultivo necesita disponer de una determinada cantidad de N mineral en la capa de suelo que pueden explorar las raíces y que se establece entre 0-60 cm y 0-90 cm según los cultivos (Feller y Fink, 2002). A esta cantidad se le suele denominar "target value", traducido en este trabajo como "valor objetivo". Feller y Fink (2002) dan "valores objetivo" para muchos cultivos hortícolas en Alemania.

Una forma algo diferente de aplicar este sistema de recomendación de abonado nitrogenado es mediante la ecuación (Neeteson, 1995):

$$N_{\text{rec}} = A - B \cdot N_{\text{min}} \quad (1)$$

en la que N_{rec} es la dosis óptima de fertilizante nitrogenado a aplicar, B es un coeficiente experimental que, en general, se toma como la unidad (ver tabla) y N_{min} es la cantidad de N mineral presente en el suelo hasta una profundidad de 60 o 90 cm (dependiendo del cultivo) en el momento de la plantación. En esta ecuación, A representa las necesidades de N mineral del cultivo ("valor objetivo"). Estas necesidades se pueden cubrir con el N_{min} inicial del suelo en la capa considerada y con el aportado por el fertilizante u otras fuentes como el agua de riego.

Los valores de los coeficientes A y B de la ecuación (1) se obtienen experimentalmente mediante ensayos de fertilización con suelos y prácticas de cultivo de una determinada zona. Neeteson (1995) describe cómo se determina el abonado óptimo económico en un determinado cultivo e ilustra la obtención de los parámetros A y B para el caso del cultivo de patata en suelos arenosos. La Fig. 1 presenta los resultados de 49 ensayos realizados en diferentes regiones de Holanda durante los años 1973 a 1982. Aunque Neeteson (1995) no presenta en la figura original los valores de A y B , aquí se han estimado gráficamente los datos y se ha calculado la ecuación de regresión que se incluye en la figura 1.

En la Tabla 1 se presentan los valores de A y B que se emplean en Holanda para las recomendaciones de abonado nitrogenado por el Método N_{min} (Neeteson, 1995). Los "valores objetivo" son equivalentes al parámetro A de la ecuación (1) si el coeficiente $B = 1$ (como es el caso para todos los cultivos de la tabla excepto la espinaca) (ver Feller y Fink (2002) para una descripción de la obtención de los "Valores objetivo"). Se puede observar que los valores de A empleados en Holanda y los "valores objetivo" utilizados en Alemania en algún caso son bastante diferentes. Estas diferencias son probablemente debidas a los diferentes métodos empleados en la obtención de los "valores objetivo" y

los coeficientes **A** y **B**, además de la influencia que pueden tener los niveles de producción y de mineralización neta de los suelos en los que se obtuvieron los datos experimentales, así como las pérdidas por lixiviación y por desnitrificación en los cultivos en los dos países, ya que todos estos factores influyen en la determinación de los parámetros **A** y **B**, y de los “valores objetivo”.

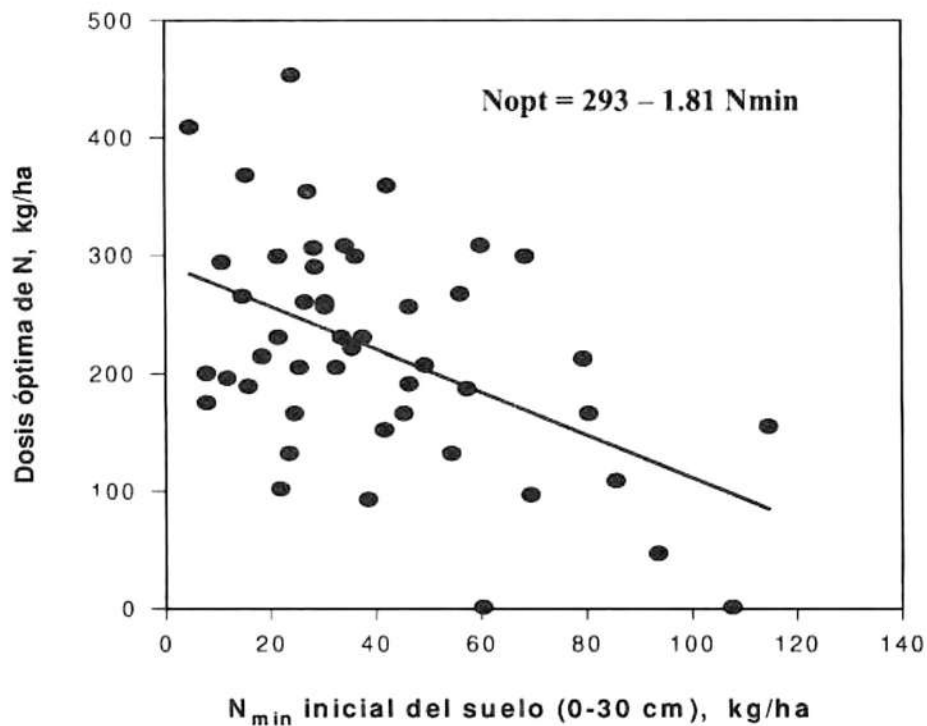


Fig. 1. Relación entre el contenido de N mineral en la capa 0-30 cm de suelo al final del invierno (poco antes de la siembra de patata) y la dosis óptima económica de abonado nitrogenado para suelos arenosos en Holanda. Cada punto es el resultado de un ensayo de abonado con varias dosis de N. La ecuación de regresión se ha obtenido a partir de los datos estimados gráficamente de la figura original de Neeteson (1995).

De la ecuación (1) se deduce que si el coeficiente **B** es igual a 1, esto equivale a considerar equivalente el **N_{min}** inicial del suelo y el N del fertilizante, aunque la eficiencia del uso de estos dos nitrógenos por la planta puede ser diferente. Neeteson (1995) establece que el valor de **N_{rec}** se puede aplicar no solamente en forma mineral sino también en forma de abonos orgánicos, aunque en este último caso se considera que el N aplicado tiene una eficiencia del 60%, debido a que hay pérdidas por volatilización y sólo una parte del N total en el abono orgánico se mineraliza en el período de cultivo.

Tabla 1. Parámetros **A** y **B** de la ecuación (1) para la recomendación de abonado en algunos cultivos hortícolas en Holanda y “valores objetivo” empleados en Alemania (adaptado de Neeteson (1995) y de Feller y Fink (2002)).

Cultivo	Holanda			Alemania	
	A (kg N/ha)	B	Prof. de muestreo (cm)	“Valor objetivo” (kg N/ha)	Prof. de muestreo (cm)
Cebolla ⁽¹⁾	180	1,0	0 – 60	118	0-60
Puerro	270	1,0	0 – 60	142 – 225 ⁽³⁾	0 – 60
Coliflor	300	1,0	0 – 60	297	0 – 60
Zanahoria	80	1,0	0 – 60	100	0 – 60
Col	350	1,0	0 – 60	272 – 339 ⁽⁴⁾	0 – 60 ⁽⁵⁾
Espinaca ⁽²⁾	290	1,4	0 – 30	166 – 182 ⁽⁶⁾	0 - 30

⁽¹⁾ Para Holanda, los datos corresponden a cebolla para obtención de semilla.

⁽²⁾ En los datos de Holanda se especifica que es como primera cosecha del año y para suelos francos y arcillosos.

⁽³⁾ Los 142 Kg corresponden al puerro plantado en verano.

⁽⁴⁾ La cifra de 339 Kg es para col para industria

⁽⁵⁾ Para la col de industria la profundidad de muestreo es de 0 – 90 cm.

⁽⁶⁾ La cifra 182 Kg de N es para espinaca para industria.

Precauciones y dificultades en la aplicación del sistema N_{min}

En su revisión de este método, Neeteson (1995) señala que puede aplicarse con éxito en condiciones medias, pero que en casos específicos puede no ser adecuado debido a las diferencias importantes que puede haber entre parcelas y años en cuanto a la producción y a la mineralización de la materia orgánica del suelo.

Una dificultad práctica para la determinación de N_{min} del suelo (en kg/ha) es que se necesita conocer la densidad aparente de las diferentes capas de suelo muestreadas y esta medida requiere un equipamiento especial y un trabajo adicional. Un factor adicional de incertidumbre lo introduce la variabilidad espacial del contenido de nitrato en el suelo. El coeficiente de variación (CV) del contenido de nitrato del suelo es variable, pero podemos considerar que está en el rango de 30-60% (Mulla y McBratney, 2000). En un estudio en Sevilla, López-Granados et al., (2002) encontraron valores del CV de un 75% para el nitrato en la capa 0-0,1 m y de un 40% en la capa 0,25-0,35 m y un CV de un 40% para el amonio, en estas dos mismas capas. Es probable que estos valores sean bastante inferiores para capas de 30 cm de espesor. En la Tabla 2, se presenta el número de muestras necesarias para obtener un valor medio del contenido de N mineral con una desviación del valor real inferior a unos determinados porcentajes, con un nivel de confianza del 95% (este cálculo se hizo según de Gruijter, 2002).

Como se observa en la tabla 2, el número de muestras necesarias para conseguir una determinada precisión aumenta mucho con la variabilidad de las muestras y a medida que la desviación permitida respecto del valor real es menor.

Tabla 2. Número de muestras de suelo necesarias para que el contenido de N mineral de la muestra se desvíe en menos de un determinado porcentaje del valor real, con un nivel de confianza del 95%, para diferentes valores del coeficiente de variación.

Coef. de variación %	Desviación permitida %	Nº de muestras
20	10	16
20	20	4
40	10	62
40	20	16
60	10	139
60	20	35

Aunque los resultados de la tabla 2 sólo son orientativos, sugieren que para determinar el contenido de N mineral con una cierta precisión harían falta por lo menos 10-20 puntos de muestreo del suelo por parcela (en cada punto de muestreo se tomaría una muestra de 0-30 cm y otra de 30-60 cm).

EL ANÁLISIS DE NITRATO EN EL SUELO ANTES DEL ABONADO DE COBERTERA (METODO PSNT)

Este sistema, denominado PSNT ("pre-sidedress soil nitrate test") se desarrolló en EE.UU para el maíz (Magdoff, 1991) y después se adaptó con éxito para algunos cultivos hortícolas como la lechuga (Breschini y Hartz, 2002), la col (Heckman et al., 2002), el apio (Hartz et al., 2000) y el tomate (Krusekopf et al., 2002).

El abonado de cobertera se aplica normalmente alrededor de un mes después de la preparación del terreno, en la fase previa al crecimiento rápido de la planta en la que la demanda de N es más elevada. Se considera que el contenido de nitrato del suelo en este momento da una idea bastante aproximada de la disponibilidad de N mineral para el cultivo durante el resto de su ciclo, ya que las pérdidas de nitrato por lixiviación en las fases posteriores al muestreo y hasta la recolección se considera que no son elevadas (Hartz, 2003), aunque algunos estudios indican lo contrario (Jackson et al., 1994).

En este sistema se suele muestrear sólo la capa de suelo de 0-30 cm ya que, aunque puede haber cultivos que tengan el sistema radicular más profundo, la correlación que suele haber entre la concentración de nitrato en la capa de 0-30 cm y la de 30-60 cm hace que no sea necesario el muestreo de 30-60 cm (Krusekopf et al., 2002; Onken et al., 1985). Algunos autores recomiendan muestrear la capa de 5-30 cm (Hartz et al., 2000) porque el nitrato de los primeros 5 cm no es muy accesible a las raíces. El contenido de nitrato en el suelo se utiliza como un indicador de la necesidad o no de la aplicación del abonado de cobertera. En la tabla 3 se presentan los valores de contenido N nítrico (N-NO_3) en el suelo (0-30 cm) poco antes del abonado de cobertera, por encima de los cuales el abonado no produjo un incremento de la producción en ensayos realizados principalmente en California y también en algunos estados del este de EEUU.

Tabla 3. Concentraciones críticas de N nítrico en la capa de suelo de 0-30 cm empleadas en el método de PSNT para diferentes cultivos hortícolas en EEUU.

Cultivo	Concentración crítica N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	Referencia
Tomate industria	16	Krusekopf et al. (2002)
Lechuga iceberg	20	Hartz et al. (2000)
Lechuga iceberg y romana	20	Breschini y Hartz (2002)
Apio	20	Hartz et al. (2000)
Col	24	Heckman et al. (2002)

En algunos de estos trabajos hay indicaciones sobre las cantidades de N a aplicar en cobertera cuando los valores de N-NO₃ obtenidos en el suelo son inferiores a los valores considerados “críticos”. Por ejemplo, en lechuga iceberg y apio, Hartz et al. (2000) aconsejan aplicar en el abonado de cobertera aproximadamente 4 kg N/ha por cada mg N/kg por debajo de los 20 mg N-NO₃/kg. En otro trabajo con lechuga iceberg y romana, Breschini y Hartz (2002) emplearon abonados de cobertera de: 90 kg N/ha cuando el contenido de N-NO₃ en el suelo tenía entre 5-10 mg N-NO₃/kg, 45 kg N/ha cuando el suelo tenía 10-15 mg N-NO₃/kg y unos 20 kg N/ha cuando el suelo tenía 15-20 mg N-NO₃/kg.

Los valores de concentración de N-NO₃ en una determinada capa de suelo (expresados sobre suelo seco) se pueden convertir en kg N/ha si tomamos un valor de la densidad aparente del suelo. Así, una concentración de 20 mg N-NO₃/kg en una capa de suelo de 0-60 cm, suponiendo una densidad aparente de 1,5 g suelo/cm³, equivaldría a 120 kg N/ha (esto equivale aproximadamente a decir que un Nmin inicial del suelo de 120 kg/ha en la capa 0-60 cm sería suficiente). Se puede calcular, por tanto, que para llevar una capa de suelo de 30 cm sin nada de N-NO₃ hasta el valor de 20 mg N-NO₃/kg habría que añadir unos 60 kg N/ha.

Este método lleva implícito la necesidad de poder analizar el nitrato del suelo de manera rápida ya que el muestreo se realiza poco antes del inicio de la fase de gran demanda de N por el cultivo. Hartz et al. (1994) y Sepúlveda et al. (2003) mostraron la validez del análisis rápido de nitrato en muestras de suelo.

En algunas recomendaciones en las que no se sigue el método de PSNT, las cantidades de N fertilizante recomendadas son bastante mayores. Por ejemplo, Mortvedt et al. (2001) recomiendan para la patata en Colorado, para una producción de unas 45 t/ha, abonados que van desde 160 kg N/ha cuando la concentración de nitrato en el suelo (0-30 cm) es superior a 36 mg N-NO₃/kg, hasta 200 kg N/ha para concentraciones de 0-18 mg N-NO₃/kg. Estas recomendaciones se modifican en función del contenido de materia orgánica del suelo y de la producción esperada. Lang et al. (1999) para el cultivo de patata en Washington, dan recomendaciones de abonado nitrogenado para diferentes valores de N mineral en el suelo previo a la plantación, y para diferentes producciones esperadas. Por ejemplo, para una producción de 40 t/ha, si el contenido de N mineral es de unos 30 mg N/kg en la capa de 0-30 cm, la cantidad recomendada es de 260 kg N/ha y si es de unos 20 mg N/kg entonces la recomendación es de 300 kg N/ha. Vemos pues que los valores pueden variar bastante con los cultivos, la producción esperada y los autores.

CONCLUSIONES

La medida del N mineral del suelo o del nitrato ~~que~~ se emplea en diferentes países en los cultivos hortícolas pero el empleo de los “valores objetivo” en el caso del método del N_{min} y de los valores críticos de la concentración de nitrato en el método del PSNT, requiere una adaptación cuando se quieren emplear bajo condiciones de suelo, clima y prácticas de cultivo diferentes a las de las zonas en las que se desarrollaron. Esta adaptación tiene que basarse en ensayos experimentales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la UE a través del proyecto QLK5-2002-01110 y por el INIA con el proyecto RTA04-060-C6. Agradezco también las sugerencias de Jordi Doltra para la mejora del manuscrito.

Referencias

- Babiker I.S., Mohamed M.M.A., Terao H., Kato K. y Ohta K. 2004. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International* 29:1009-1017
- Breschini, S.J. and Hartz, T.K. 2002. Presidedress soil nitrate testing reduces nitrogen fertilizer use and nitrate leaching hazard in lettuce production. *HortScience* 37: 1061-1064.
- de Gruijter JJ. 2002. Sampling. En: J.H. Dane and G.C. Topp (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI., pp. 45-79.
- de Paz y C. Ramos. 2002. Linkage of a geographical information system with the GLEAMS model to assess nitrate leaching in agricultural areas. *Environmental Pollution* 118:249-258.
- Feller, C. and Fink, M., 2002. N_{min} target values for field vegetables. *Acta Horticulturae* 571:195-201
- Ferrer F., Villar J.M., Stockle C.O., Villar P., Aran M. 2003. Use of pre-sidedress soil nitrate test (PSNT) to determine nitrogen fertilizer requirements for irrigated corn. *Agronomie* 23: 561-570.
- Goh, K. M. and Haynes, R. J. 1986. Nitrogen and agronomic practice. En: *Mineral N in the plant- soil system*. Haynes, R. J. (Ed.), pp. 379-442. Academic Press Inc., Orlando, Fla., USA.
- Hartz, T.K. 2003. The assessment of soil and crop nutrient status in the development of efficient fertilizer recommendations. *Acta Horticulturae* 627:231-240.
- Hartz, T. K., Smith, R.F., Schulbach, K.F. y LeStrange, M. 1994. On-farm nitrogen tests improve fertilizer efficiency, protect groundwater. *California Agriculture* 48 (4): 29-32
- Hartz, T.K., Bendixen, W.E. and Wierdsma, L. 2000. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production. *HortScience* 35:651-656.
- Heckman, J.R., Morris, T., Sims, J.T., Sieczka, J.B., Krogmann, U., Nitzsche, P. and Ashley, R. 2002. Pre-sidedress soil nitrate test is effective for fall cabbage. *HortScience* 37:113-117.
- Jackson L.E., Stivers L.J., Warden B.T., Tanji K.K. 1994. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. *Fert. Res.* 37:93-105

- Jüergens-Gschwind, S. 1989. Ground water nitrates in other developed countries (Europe)- Relationships to land use patterns. En: "Nitrogen management and ground water protection". R.F. Follet (ed), Elsevier, Amsterdam, pp. 75-138
- Krusekopf, H.H., Mitchell, J.P., Hartz, T.K., May, D.M., Miyao, E.M. and Cahn, M.D. 2002. Pre-sidedress soil nitrate testing identifies processing tomato fields not requiring sidedress N fertilizer. *HortScience* 37: 520-524.
- Lang, N.S., Stevens, R.G., Thornton, R.E., Pan, W.L. and Victory, S. 1999. Potato nutrient management for central Washington. Wash. Coop. Extension Bull. 1871.
- López-Granados F., Jurado-Expósito M., Atenciano S., García-Ferrer A., Sánchez de la Orden M., García Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil* 246: 97-105
- Lund, L.J. 1979. Nitrogen studies for selected fields in the Santa Maria Valley. A. Nitrate leaching and nitrogen balances. p. 355-415. In P.F. Pratt (principal investigator). Nitrate in effluents from irrigated lands. Final report to the National Science Foundation, Univ. of Calif., Riverside, CA.
- Magdoff, F. 1991. Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. *Journal of Production Agriculture* 4: 297-305.
- Mortvedt, J.J., Soltanpour, P.N., Zink, R.T. and Davidson, R.D. 2001. Fertilizing potatoes. Colorado Coop. Extension Factsheet 541.
- Mulla DJ and A.B. McBratney. 2002. Soil spatial variability. En: M.E. Sumner (ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. A321-A352.
- Needham, P. 1982. The role of nitrogen in wheat production: Response, interaction and prediction of nitrogen requirements in the UK. *Proceedings of the Fertiliser Society*, No.211, pp. 125-47.
- Neeteson, J.J. 1995. Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables. En: "Nitrogen Fertilization in the Environment" P.E. Bacon (eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, pp.295-325.
- Onken A.B., Matheson R.L., Nesmith D.M. 1985. Fertilizer nitrogen and residual nitrate-nitrogen effects on irrigated corn yield, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 134-139 .
- Pratt P.F. 1984. Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. En: "Nitrogen in crop production" R.D. Hauck (ed), pp. 319-333, Am. Soc. Agronomy, Madison.
- Rahn C., De Neve S. Bath B., Bianco V. V., Dachler M., Cordovil. M.d.S C., Fink M., Gysi C., Hofman G., Koivunen M., Panagiotopoulos L., Poulain D., Ramos C., Riley H., Setatou H., Sorensen J.N., Titulaer H. y Weier U. 2001. A comparison of fertiliser recommendation systems for cauliflowers in Europe. *Acta Horticulturae* 563:39-45.
- Sepúlveda J., Garrós V. y Ramos C. 2003. El análisis rápido de nitrato en suelos y aguas. *Agrícola Vergel*, Mayo pp. 273-278.
- Tremblay N., H.C. Scharpf, U. Weier, H. Laurence and J. Owen. 2001. Nitrogen Management in Field Vegetables - A guide to efficient fertilisation. http://res2.agr.ca/stjean/publication/bulletin/nitrogen-azote_e.pdf
- Villar-Mir J.M., Villar P., Stockle C., Ferrer F., Aran M. 2002. On-farm monitoring of soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro valley (Northeast Spain), *Agron. J.* 94: 373-380 .
- Wehrmann J, Scharpf HC y Kuhlmann H. 1988. The Nmin-method- an aid to improve nitrogen efficiency in plant production. En: Jenkinson DS Smith KA (eds) *Nitrogen efficiency in agricultural soils*. Elsevier Appl. Sci., pp 256-268.